SECHERESSE

Article scientifique

Sécheresse 2007 ; 18 (4) : 328-35

Système d'information sur l'environnement à l'échelle locale (Siel) pour évaluer le risque de désertification : situations comparées circumsahariennes (réseau Roselt)

Maud Loireau[1]
Mongi Sghaier[2]
Mondher Fétoui[2]
Magatte Ba[3]
Mohamed Abdelrazik[4]
Jean-Marc d'Herbès[5]
Jean-Christophe Desconnets[1]
Didier Leibovici[1]
Stéphane Debard[1]
Éric Delaître[1]

[1] Institut de recherche pour le développement (IRD),
Unité de service Espace,
Maison de la télédétection(MTD),
500, rue Jean-François Breton,
34093 Montpellier cedex 05 France
<Loireau@mpl.ird.fr>
<jcd@teledetection.fr>
<didier.leibovici@nottingham.ac.uk>
<debard@mpl.ird.fr>
<delaitre@mpl.ird.fr>
[2] Institut des régions arides (Ira),
Laboratoire d'économie et sociétés rurales,
Route de Jorf, 4119 Médenine
Tunisie
<s.mongi@ira.rnrt.tn>
<mondher_ga@yahoo.fr>
[3] Centre de suivi écologique (CSE),
Gestion de ressources naturelles (GRN),
Rue LG Damas, Fann-Résidence,
BP 15532,
Dakar Sénégal
<magatte_ba@hotmail.com>
[4] Université d'Alexandrie,
Department of Botany,
21511 Moharran Bey,
Alexandrie Égypte
<mabdelrazik@yahoo.com>
[5] Institut de recherche pour le développement (IRD), BP 64501 34394 Montpellier cedex 5
<dherbes@mpl.ird.fr>

Tirés à part : M. Loireau

Résumé

Dans le cadre de la surveillance environnementale et de la lutte contre la désertification des zones rurales à forte contrainte de sécheresse, un système d'information sur l'environnement à l'échelle locale (Siel) est conçu, développé et mis en œuvre sur des territoires agropastoraux africains. Selon une démarche générique et des modèles environnementaux appropriés, il permet d'évaluer l'intensité du risque de dégradation des terres (passé, actuel, futur) relativement aux pressions anthropiques et aux caractéristiques biophysiques locales. Cette intensité varie dans le temps et l'espace en fonction du niveau de participation et de la répartition spatiale des causes anthropiques et biophysiques de la dégradation. Dans cet article, nous décrivons : l'intérêt de ce système et ses caractéristiques ; sa capacité à alimenter et organiser un dispositif durable de surveillance environnementale dans un réseau d'observatoires tel que le Réseau d'observatoires de surveillance écologique à long terme (Roselt) ; sa capacité à fournir des informations (diagnostic, prospectives) utiles au dialogue avec les gestionnaires des ressources naturelles à travers ses modèles exploratoires. Cette analyse est illustrée par deux produits sélectionnés (degré d'artificialisation et indice de pression anthropique sur la végétation naturelle), issus des Siel mis en œuvre dans quatre observatoires Roselt/OSS (Observatoire du Sahara et du Sahel) sur lesquels les avancées les plus significatives ont été réalisées.

Mots clés : désertification, facteur anthropique, modélisation, ressource naturelle, surveillance environnementale, système d'information, végétation

Abstract

Local Environmental Information System to assess the risk of desertification: circumSaharan compared situations (Roselt network)

Within the context of environmental surveillance and combating desertification in rural drylands, a local environmental information system (Siel, système d'information sur l'environnement à l'échelle locale) has been developed and implemented on agropastoral areas in Africa. Using a generic approach and appropriate environmental models, Siel makes it possible to assess the intensity of land degradation risk (past, current and future) relative to local human pressure and biophysical characteristics. This intensity differs in time and space depending on the level and spatial distribution of human and biophysical causes. The aim and characteristics of Siel are described in this article. Evaluation is carried out of its capacity to feed and organize

doi: 10.1684/sec.2007.0104

a sustainable device for environmental monitoring and assessment using a network of local observatories, such as Réseau d'observatoires de surveillance écologique à long terme (Roselt, Long Term Ecological Monitoring Observatories Network), to give useful information (diagnosis and forecasting) for a better dialogue with decision-makers through explorative modelling. To illustrate these points we focus on two selected results (degree of artificialization and index of human pressure on natural vegetation). These results come from four Roselt/OSS (Observatoire du Sahara et du Sahel, Sahara and Sahel Observatory) observatories on which the most relevant progress has been made.

Key words: anthropic factor, desertification, environmental monitoring, information system, modelling, natural resources, vegetation

Introduction

Zones rurales africaines à fortes contraintes de sécheresse

Les zones rurales africaines à fortes contraintes de sécheresse, Nord et Sud Sahara, ont des caractéristiques spécifiques qui doivent être prises en compte pour comprendre, suivre et évaluer le risque de désertification [1].

Leurs sociétés ont des liens très étroits avec le milieu naturel environnant. L'exploitation des ressources naturelles renouvelables[1] contribue significativement à la satisfaction des besoins essentiels d'une grande partie de la population. L'abondance et le renouvellement de ces ressources dépendent des fluctuations de l'environnement. Leur devenir est fonction des usages qu'en font les sociétés, de la maîtrise des techniques d'exploitation, et de la manière dont elles sont partagées et appropriées. Les systèmes écologiques sont fragiles et à faible résilience. Les baisses de potentialité du milieu y sont plus rapides, et les vitesses de reconstitution plus lentes que dans les zones à climat moins contraignant [2].

Les composantes de ces zones rurales africaines (climat, ressources, usages), ainsi que leurs relations, sont caractérisées par une forte variabilité spatiale et temporelle. Enfin, les ressources y sont majoritairement prélevées pour divers usages simultanément ou successivement dans le temps [1, 3].

Or, depuis des décennies, les sociétés rurales de ces zones sèches sont en mutations sociales et démographiques : accroissement de la population, coexistence des droits traditionnels et modernes, sédentarisation des éleveurs, diversification des activités, urbanisation, etc. Des perturbations anthropiques fortes en découlent : saturation de l'espace agricole disponible, diminution du temps de jachère et de la mobilité du cheptel, etc. Enfin, des sécheresses particulièrement sévères se succèdent, dont celles reconnues au Sahel en 1910-1915, 1972-1973 et 1982-1984 [4].

Désertification

Les systèmes écologiques fragiles supportent donc à la fois un accroissement des phénomènes de sécheresse et des perturbations anthropiques fortes. Dans la plupart des cas, cette combinaison de facteurs accentue l'aridité d'origine édaphique (dégradation du stockage de l'eau dans les sols), diminue l'efficience de l'eau pour la végétation (diminution du rapport pluie/biomasse produite), modifie le couvert végétal et les paysages, affectant la productivité des systèmes de production et les conditions de vie des populations [2]. La désertification est un processus évolutif de dégradation des terres, liée à la perte de productivité et de résilience, marqué par différents seuils. Elle se produit lorsque l'homme modifie les équilibres ou les dynamiques naturelles par surexploitation des ressources ; l'accentuation des sécheresses constitue davantage un facteur aggravant [2].

Aujourd'hui, ces zones rurales africaines subissent une augmentation et/ou une nouvelle répartition spatiale et temporelle de la pression humaine sur les ressources dont on connaît mal le niveau d'intensité et la nature, et que l'on peut difficilement anticiper et donc gérer. Et ce, d'autant plus que le niveau de participation des facteurs de désertification varie d'une zone géographique à l'autre [5].

Besoin d'un système d'information sur l'environnement

L'extension croissante des phénomènes de dégradation des terres et l'inquiétude des pays concernés, comme de la communauté internationale, créent le besoin de fournir des informations pertinentes aux gestionnaires des ressources dans le cadre d'un développement durable. Ces informations sont d'autant plus pertinentes qu'elles permettent d'évaluer le niveau de dégradation (passé, actuel et futur), les causes de cette dégradation et leur niveau de participation, et sa répartition spatiale. Dans ce sens, plus que l'aspect technique ou écologique de la désertification, il s'agit de prendre en compte la complexité des modes d'utilisation des ressources et la dynamique des processus sociaux sous-jacents. L'accent est alors délibérément mis sur la dimension locale où cette complexité peut être appréhendée.

Dans cet article, nous décrivons un système d'information sur l'environnement à l'échelle locale (Siel) conçu et développé selon une démarche générique (utilisable dans divers contextes) et des méthodes appropriées pour répondre au mieux à ces besoins.

Concepts et principes généraux du Siel

Approche spatiale interdisciplinaire (diagnostic)

Le Siel se base sur une approche spatiale qui considère l'espace comme le lieu des interactions homme/milieu. Le paysage, en tant que portion de l'espace, est la résultante observable à un instant donné de ces interactions [3]. Cherchant à évaluer le niveau de vulnérabilité des ressources sur un territoire rural à l'échelle locale, le Siel considère le paysage comme territoire-ressource [6].

Le Siel se base également sur une approche pluridisciplinaire combinant des savoirs et des compétences relatifs aux sciences liées à l'étude des processus biophysiques et socio-économiques de la désertification, et à la modélisation environnementale du point de vue thématique (géographie, écologie du paysage) mais aussi informatique, statistique et mathématique.

Enfin, le Siel met en œuvre une approche spatiale interdisciplinaire puisqu'il intègre des données pluridisciplinaires sur des espaces communs, selon une série de

[1] Le terme ressource employé par la suite dans cet article signifie « ressource naturelle renouvelable »

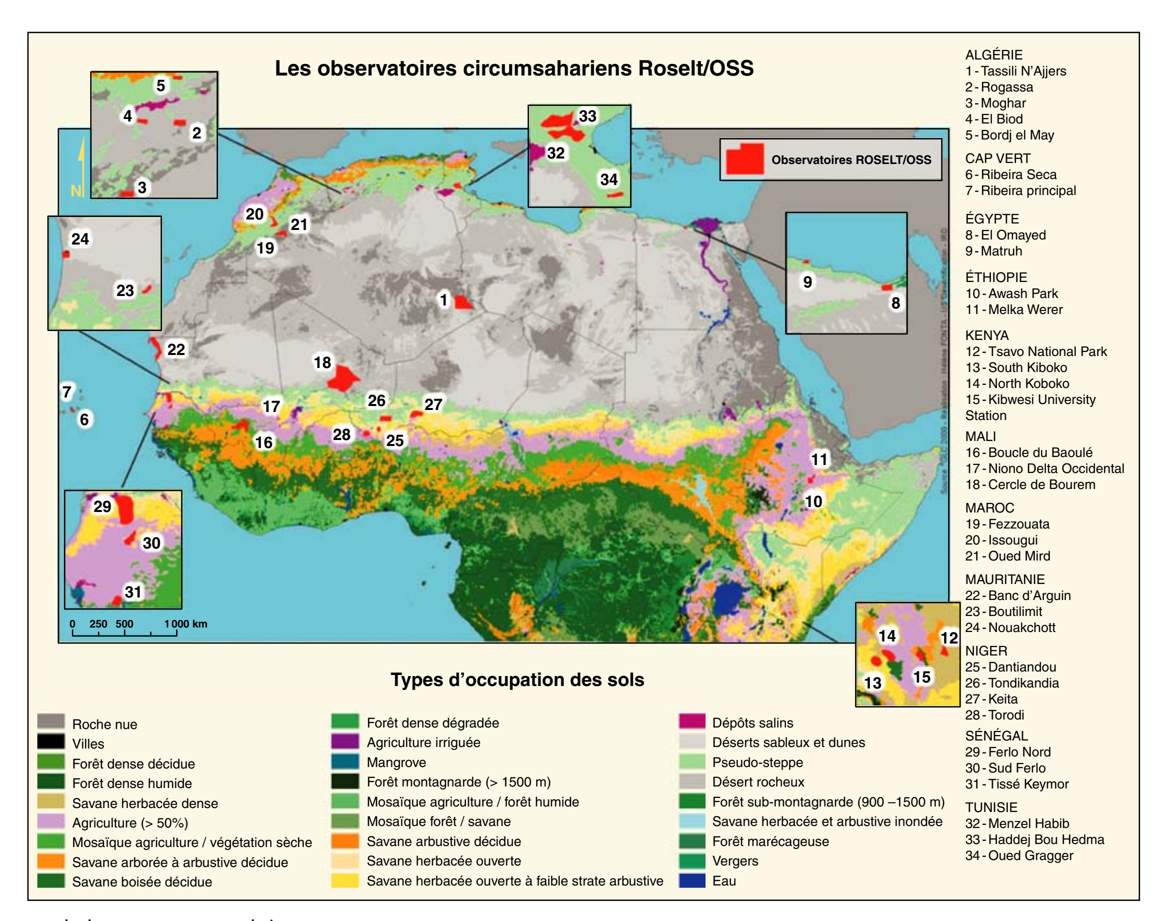


Figure 1. Réseau d'observatoires Roselt/OSS.
Roselt : Réseau d'observatoires de surveillance écologique à long terme ; OSS : Observatoire du Sahara et du Sahel.

méthodes *ad hoc*, afin d'établir des bilans ressources/usages.

Modélisation environnementale (diagnostic + prospectives)

L'analyse spatiale s'appuie difficilement sur des expériences comme le font les physiciens ou les biologistes [7]. Traitant de phénomènes complexes, diversifiés et riches en situations particulières, elle a besoin de simplifier pour dégager le générique (utilisable quel que soit le contexte) du spécifique (lié au contexte particulier de son application), le permanent et le déterminant du contingent, et pour poser les problèmes relatifs à l'explication de ce qu'elle observe. L'usage des modèles permet de remplir ces deux tâches.
Le Siel utilise les modèles pour répondre non seulement à ces besoins classiques généraux, mais aussi aux besoins spécifiques d'un réseau tel que le Réseau d'observatoires de surveillance écologique à long terme (Roselt). En effet, les modèles du Siel permettent de répéter la même succession de traitements types de l'information, sur un territoire rural quelconque des zones sèches, en tenant compte des spécificités locales. Ils visent les mêmes produits, comparables dans le temps sur un territoire (diachrones) ou dans l'espace sur divers territoires (synchrones), dans un pays (réseau national d'observatoires) ou dans plusieurs pays (réseau régional). De plus, ces modèles permettent d'organiser et harmoniser progressivement le dispositif de collecte des données thématiques [1, 8].
Enfin, l'utilisation des modèles du Siel simule une certaine réalité simplifiée. Cette simulation permet d'établir un diagnostic sur le risque relatif de dégradation des terres quand elle est alimentée par les données issues de l'observation sur une période donnée. Elle permet d'établir des prospectives si tout ou partie des données qui l'alimentent est issu de scénarios d'évolution définis au préalable par les scientifiques chargés de la surveillance environnementale. La capacité prospective du Siel vise à faciliter et améliorer l'efficacité des échanges avec les gestionnaires des ressources, chargés par exemple de proposer des actions de lutte contre la désertification. En tant que modèles et outil, le Siel est ainsi un participant supplémentaire dans les discussions et interactions sur la découverte et l'utilisation des connaissances [9].

Œuvre collective

Le prototype Siel est réalisé au Sahel agropastoral nigérien [3]. Dans le cadre de la désertification, il est ensuite adopté par le programme Roselt[2] *(figure 1)* de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), qui confie en 2000-2005 la coordination du réseau à l'Institut de recherche pour le développement (IRD, France), en collaboration avec le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad, France) et l'INstitut du SAHel (Insah, Afrique de l'Ouest). Pour définir et mettre en œuvre les méthodologies *ad hoc* de surveillance environnementale, un Siel-Roselt plus générique (concepts, méthodes, outil) est alors développé à l'IRD au fur et à mesure que les concepts et les méthodes proposés sont partagés au sein du réseau et précisés selon un consensus. En 2003, la mise en œuvre dans les observatoires Roselt/OSS d'une première version a accéléré l'appropriation du système par les membres du réseau et permet encore aujourd'hui l'amélioration des modèles dans leur

[2] www.roselt-oss.org.

généricité et leur interface homme-machine. Fin 2006, la version 1.4 du Siel-Roselt est le résultat des travaux collectifs entre concepteurs, thématiciens, informaticiens et utilisateurs.

Élément du Système d'information sur l'environnement (SIE) Roselt

Le Siel-Roselt est mis en œuvre en étroite relation avec les guides méthodologiques thématiques et le MDweb *(MétaDonnées pour le Web)*. Les guides, documents scientifiques évolutifs partagés au sein du réseau, organisent progressivement le dispositif harmonisé de surveillance par thème (nature/sociétés), seule garantie de l'approche synchronique et diachronique. Les méthodes préconisées d'échantillonnage, de collecte et de traitement des données permettent d'élaborer des indicateurs : i) spécifiques à la thématique ; et ii) adaptés à l'approche intégratrice du Siel. MDweb[3], outil de catalogage et de recherche de l'information environnementale *via* le Web, assure l'inventaire, la description et l'accès aux informations produites sur tous les observatoires.

Méthodes d'intégration spatiale interdisciplinaire du Siel

Spécificités

Les modèles du Siel mettent l'accent sur l'intégration de la dimension humaine dans la compréhension de la désertification.
Pour tenir compte de la forte variabilité spatiale (échelle du kilomètre) et temporelle (échelle de l'année) des interactions homme/milieu, l'élaboration des données d'entrée et le paramétrage des modèles se basent sur un raisonnement simultané dans le temps et dans l'espace qui permet de considérer la valeur de la donnée, ou du paramètre, selon sa moyenne : i) sur une période de modélisation annuelle ou pluriannuelle ; et ii) sur des unités spatiales communes.
Enfin, les modèles du Siel considèrent le multi-usage des ressources, rapportant à des unités spatiales communes l'ensemble des caractéristiques des ressources et de leurs usages.

Méthodes d'évaluation du risque relatif de dégradation des terres : diagnostic

Le Siel évalue la vulnérabilité du milieu en établissant un diagnostic du territoire pour chaque période d'observation donnée *(figure 2)* [1, 10]. Pendant cette période, les données collectées (climat, végétation, sol, eau, sociétés), représentent un fonctionnement milieu/sociétés relativement stable. À chaque changement d'état significatif et durable (seuil) d'un des paramètres mesurés (indicateurs), il peut y avoir changement de fonctionnement et donc de période dite « d'observation » (ou « de modélisation »).
Pour établir ce diagnostic, le Siel exploite un jeu de données selon une succession de modèles qui permet : i) de recomposer le territoire en unités spatiales stables sur une période à définir, en référence au fonctionnement des systèmes écologiques et sociaux en place (unités spatiales de référence, USR) ; et ii) d'y rapporter des indices synthétiques de risque de dégradation des terres. Couplant système d'information géographique (SIG) et modèles sur une plateforme ArcGis, ces deux étapes principales se décomposent en sous-étapes [1, 10] qui se déclinent en fonctionnalités de l'outil Siel-Roselt v1.4 selon une série de choix de modèles et de paramètres.
Les USR permettent de stratifier le dispositif d'échantillonnage des données sur les observatoires Roselt/OSS [11]. Elles sont issues du croisement entre deux plans géographiques construits au préalable *(figure 3)*. L'un cartographie (relevés, classifications d'images satellites, croisements de couches thématiques) les ressources dans des unités paysagères (UP, *Land cover*), l'autre délimite (enquêtes, modèles de spatialisation) des unités, pas toujours observables, sur lesquelles s'associent plusieurs pratiques d'exploitation (unités de pratiques combinées ou UPC, *Land use*) [12]. Le plan des UP exprime le fonctionnement des systèmes écologiques à travers leurs niveaux de production des ressources, variables selon les types d'affectation parcellaire susceptibles d'exister sur chaque UP. Le plan des UPC exprime les stratégies des sociétés à travers leurs niveaux d'intervention (artificialisation) sur les ressources. L'application de chaque association de pratiques sur les espaces homogènes délimités (UPC) détermine des surfaces relatives occupées par les types d'affectation parcellaire les caractérisant.
La vulnérabilité des ressources est évaluée sur les USR ainsi construites sous forme de bilans par usage (différence entre la disponibilité D des ressources, et leurs prélèvements P), ou d'indices multi-usages (combinaisons des rapports entre P et D pour chaque usage).
La démarche générale du Siel s'intéresse aux principales ressources (végétation, sol, eau) et aux trois usages classiques (agricole, pastoral, forestier). L'outil Siel-Roselt v1.4 met la priorité sur la végétation sur pied, étant donné sa sensibilité à la dégradation et son rôle majeur dans les exploitations rurales africaines de ces zones. Elle comprend la végétation naturelle des écosystèmes et agrosystèmes, plus les résidus de cultures consommables sur place par les animaux. Elle est mesurée en quantité de phytomasse épigée globale et par strate (herbacées, ligneux bas, ligneux hauts) au pic de production [11]. D correspond alors à la part de la végéta-

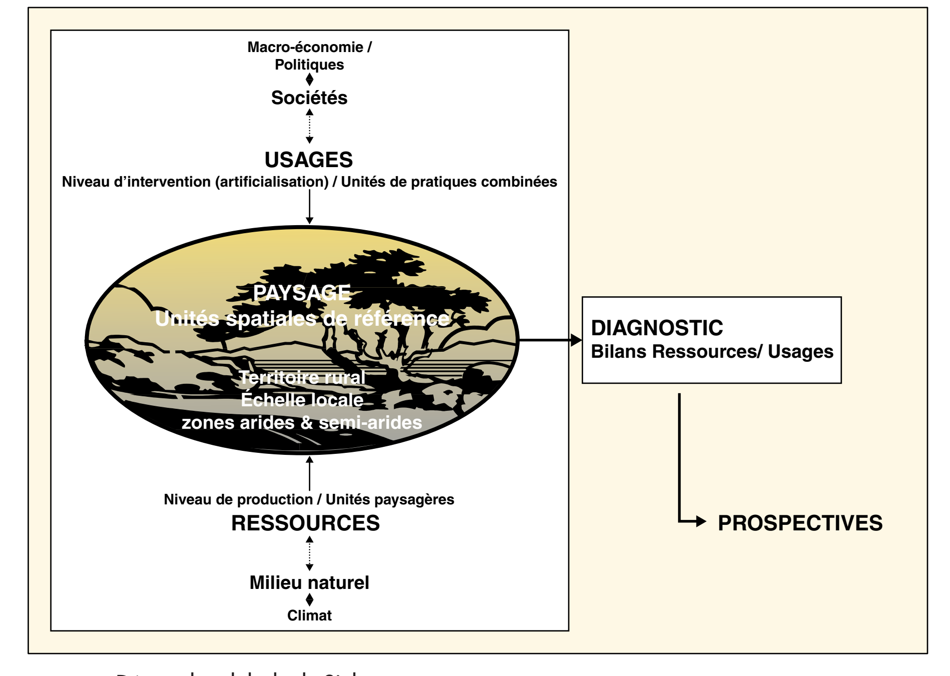


Figure 2. Démarche globale du Siel.
Siel : système d'information sur l'environnement à l'échelle locale.

[3] www.mdweb-project.org.

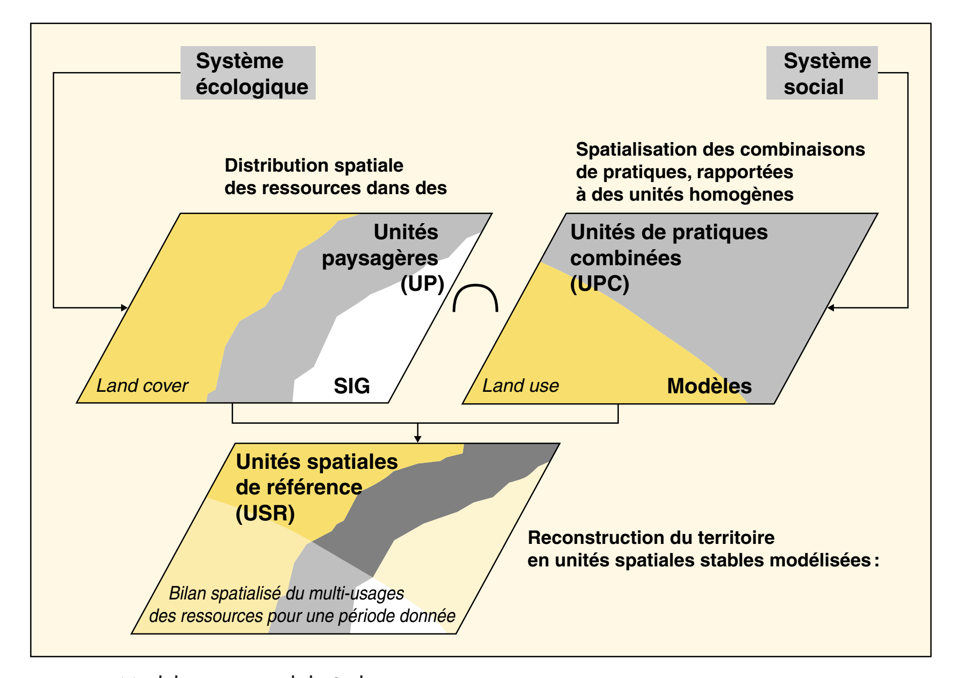


Figure 3. Modèle conceptuel du Siel.
Siel : système d'information sur l'environnement à l'échelle locale.

tion potentiellement « prélevable » par les exploitants (ou animaux) en fonction de leurs pratiques, et P à la part effectivement prélevée.

Les modèles de spatialisation des pratiques d'exploitation [10] constituent la partie la plus développée du Siel-Roselt v1.4. Ils délimitent des territoires potentiels d'exploitation autour des centres d'activités (algorithme de Thiessen pondéré), dans lesquels ils spatialisent les pratiques : modèle d'optimisation du rapport entre l'espérance de production des exploitants et l'effort à fournir pour appliquer leurs pratiques à un endroit donné, selon les caractéristiques des pratiques (niveau d'artificialisation) et celles du lieu donné (qualité de la ressource utile et accessibilité).

Les modèles sont opérationnels pour les zones agropastorales où l'activité agricole structure l'espace à partager entre tous les utilisateurs selon différents types d'occupation du sol. Les autres activités, caractérisant le multi-usage des ressources, s'appliquent sur le territoire selon cette structure. Si l'activité agricole est appliquée sur des espaces réduits (cultures irriguées, champs de case), sans possibilité d'extension spatiale en raison de contraintes fortes, physiques (accès à l'eau, qualité du sol, etc.) ou humaines (accès foncier, réserves pastorales, etc.), elle n'est pas structurante. Lorsque l'activité pastorale est structurante, les modèles du Siel sont adaptés seulement si les points d'eau et les campements (ou fermes) sont confondus d'un point de vue spatial (modèles centrés).

Capacité prospective

Une fois le diagnostic effectué sur une période d'observation, les données ou paramètres en entrée des modèles sont changés pour produire de nouveaux diagnostics dits prospectifs. Leur modification se fait selon des scénarios d'évolutions prédéfinis : continuité des tendances mises en valeur par le dispositif de suivi au sol (croissance démographique, diminution des productions végétales, etc.) ; accélération de ces tendances ou apparition d'événements exceptionnels (grande sécheresse, émigration ou immigration massives, etc.) ; introduction de nouvelles technologies.

Résultats

Parmi les produits issus de chaque étape de modélisation du Siel, deux sont sélectionnés ici, valorisant la prise en compte des sociétés, la capacité de comparaison et de projection du Siel. Ils utilisent la base de données 1991-1995 de l'Observatoire de Dantiandou au Niger (pluviométrie : 550 mm) à l'origine de la conception du Siel actuel [3], et celles des Observatoires Roselt/OSS où les avancées Siel les plus significatives ont été réalisées : Menzel Habib (150 mm) en Tunisie, 2001-2004 ; Sud Ferlo (350 mm) au Sénégal, 2000-2005 ; et El Omayed (150 mm) en Égypte, 1996-2000.

Degré d'artificialisation

La spatialisation des pratiques et délimitation des unités de pratiques combinées (UPC) permettent une représentation spatiale du degré d'artificialisation (DA). Ce dernier mesure l'effort que les exploitants doivent fournir pour appliquer une association de pratiques. Sur une échelle de 0 à 10 (0 : zones naturelles ; 10 : villes) [13], tous les observatoires agropastoraux Roselt/OSS se situent entre 3 et 4. Les modèles du Siel permettent de détailler le DA à l'échelle locale avec des valeurs fines de 0 à 1.

Comme l'agriculture structure le paysage sur les quatre observatoires, le DA mesure essentiellement l'intervention de l'homme à travers les pratiques agricoles et leurs associations ou non à des pratiques pastorales (aménagements préalables, techniques de travail et de gestion) [14]. Plus il est élevé, plus le paysage est modelé par l'homme, marqué par l'emprise des cultures de plus en plus intensives.

Le calcul du DA moyen (moyenne pondérée par les surfaces relatives des différentes valeurs) fait apparaître Menzel Habib (MH) comme le territoire le plus artificialisé (0,27), suivi du Sud Ferlo (SF : 0,38), de Dantiandou (DT : 0,33), et d'El Omayed (EO : 0,27) (*figure 4*). La valeur maximale (1) est donnée aux cultures irriguées en Tunisie et aux vergers intensément cultivés en Égypte. Les zones dites « naturelles », pouvant servir aux activités pastorales et forestières, occupent 32 % de l'espace à EO et DT, 22 % au SF et 3 % à MH. La valeur à DT, issue de la modélisation, est équivalente à celle calculée (35 %) à partir de l'interprétation de photos aériennes de 1992 [15].

Alors que les valeurs moyennes des observatoires sahéliens du Sénégal et du Niger sont proches, la distribution et l'étendue spatiale (aire en pourcentage) des valeurs diffèrent dans chaque territoire. Au Sud Ferlo, l'espace est partagé en zones peu (55 % < 0,2) et fortement artificialisées (45 % > 0,7). Il s'agit respectivement des zones sous l'emprise des cultures d'arachides et de la polyculture vivrière semi-intensive, et des zones réservées au parcours et à la culture du gommier. À Dantiandou, excepté les champs de cases cultivées intensément (5 %) et les zones pastorales et forestières (32 %), le territoire est en majorité (63 %) d'un niveau d'artificialisation moyen (entre 0,2 et 0,5) marqué par les cultures pluviales extensives. En revanche, bien que les cultures soient très différentes à El Omayed, la répartition spatiale du DA est comparable à celle de Dantiandou, avec 7 % de cultures intensives (vergers) et 61 % de cultures extensives (vergers + cultures pluviales). Enfin, sur Menzel Habib,

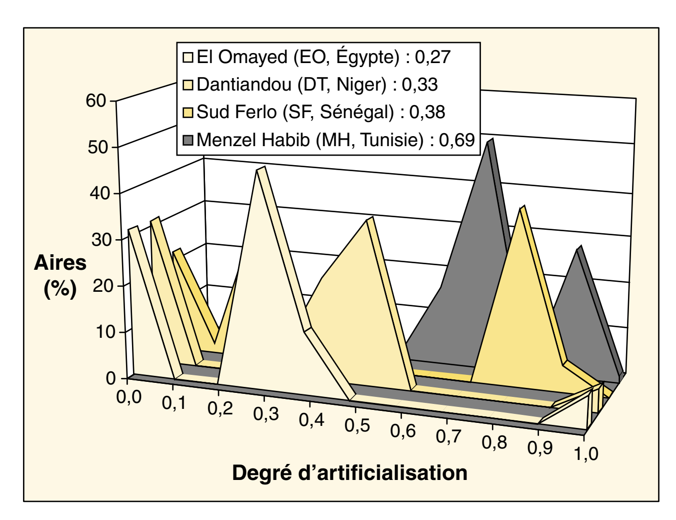


Figure 4. Étendue spatiale des niveaux d'artificialisation sur quatre observatoires Roselt/OSS.
Roselt : Réseau d'observatoires de surveillance écologique à long terme ; OSS : Observatoire du Sahara et du Sahel.

l'espace est globalement artificialisé : 0,5 < 67 % < 0,6 pour les zones de cultures extensives (oliviers et céréales) ou de parcours ; 30 % > 0,9 pour les zones de cultures intensives (oliviers derrière diguettes, cultures irriguées).

Indice de pression anthropique sur la végétation naturelle

Le Siel-Roselt v1.4 propose l'indice de pression absolu (IPA) et l'indice de pression relatif (IPR) [1].
L'IPA calcule le rapport entre les prélèvements P sur les ressources et la disponibilité D de ces ressources pour l'USR (unité spatiale de référence) courante. Il est adapté à la comparaison d'observatoires. L'IPR fait la même opération en comparant les valeurs des P et D pour l'USR courante à leurs valeurs moyennes sur l'observatoire (IPR global), ou sur les USR de même type (IPR par USR). Il est adapté à l'analyse de la distribution et variabilité spatiale sur un observatoire.

Sur l'exemple de Menzel Habib (MH) [16], la *figure 5* représente la distribution spatiale des valeurs de l'IPA lié au multi-usage de la végétation, accompagné des cartes par usage pour faciliter son interprétation. L'ensemble du territoire présente un déficit potentiel de disponibilité des ressources par rapport aux prélèvements et donc un risque relatif de dégradation des terres. Aucune zone n'est en équilibre (IPA = 1), ou excédentaire (< 1). Cela dit, lorsque la pression agricole est très forte, comme dans l'extrême nord-ouest (plaine alluviale de Ségui, à la croisée d'axes de drainage traditionnellement cultivés et aménagés en diguettes), l'indice de pression multi-usage peut rester moyen en raison des faibles pressions pastorale et forestière. Inversement, des zones avec une pression agricole faible, ou nulle, peuvent avoir un indice multi-usage maximum supérieur à 1 000, étant donné leur combinaison avec les activités pastorale et forestière (cas de la dépression temporaire d'eau salée au nord-ouest), et/ou la très faible disponibilité des ressources (cas des versants montagneux du sud).

Les mêmes cartes sont produites sur les Observatoires de Dantiandou (DT) et du Sud Ferlo (SF). Pour faciliter leur comparaison, les valeurs de l'indice supérieures à 1 sont réétalées entre 1 et 100 sur les trois sites (100 pour tout indice supérieur à 1 000). La *figure 6* représente les étendues spatiales (aires, en pourcentage) des mêmes classes d'indice d'un site à l'autre.

Seul DT comprend des zones excédentaires, sans risque de dégradation du couvert végétal (8 %). Neuf pour cent de son territoire sont en équilibre entre les disponibilités des ressources et le multi-usage, contre 21 % dans le SF et 0 % à MH. Sur tous les sites, la majorité de la surface présente un risque de dégradation des terres, mais ce

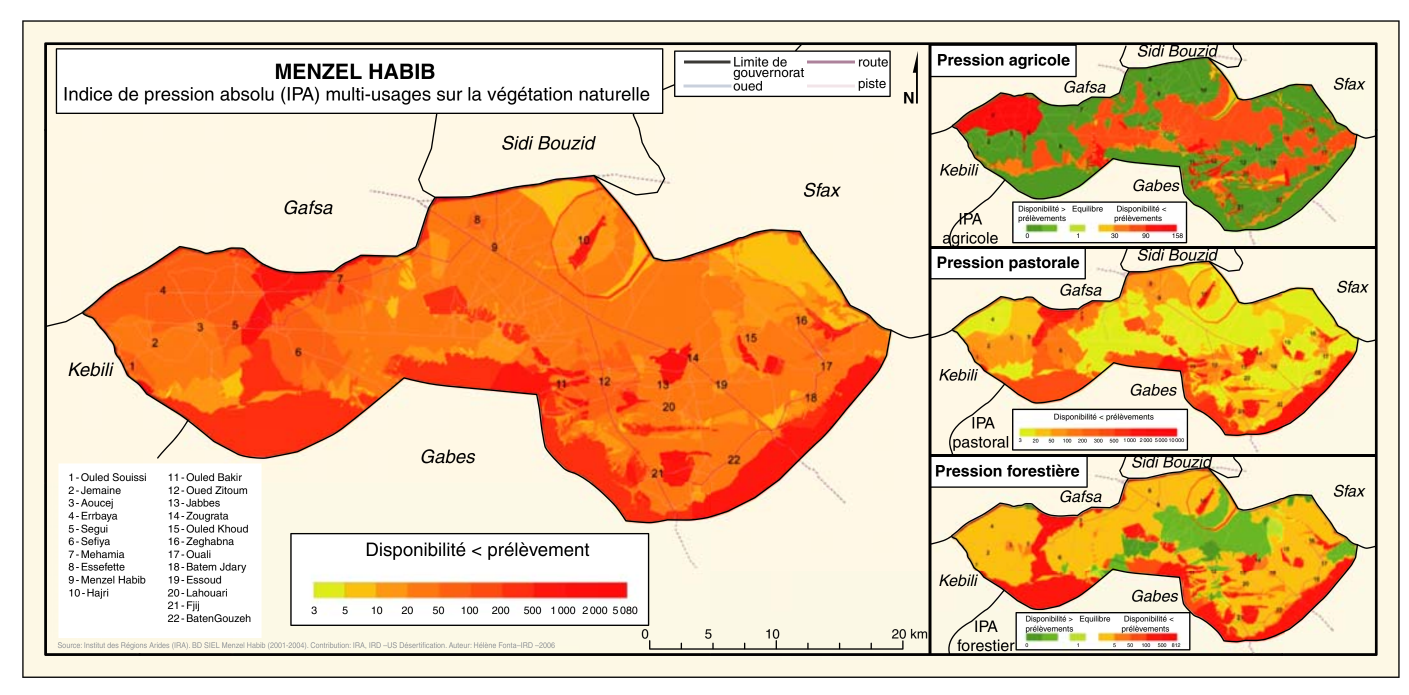


Figure 5. Cartes d'indices de pression anthropique sur la végétation à Menzel Habib (Tunisie).

risque reste faible]1 à 20] : 66 % à DT, 70 % au SF et 77 % à MH. Ces différenciations ou ressemblances de comportement à l'échelle locale positionnent globalement ces trois sites agropastoraux Nord et Sud Sahara en bas de l'échelle du risque potentiel de dégradation du couvert végétal (de 0 à 100), avec des valeurs moyennes inférieures à 20 : 14 pour MH, 15 pour DT et 5 pour le SF.
Cet indice permet ainsi non seulement d'évaluer en moyenne, et de comparer, le risque global de dégradation des terres sur plusieurs territoires à un instant donné. Il permet aussi, sur un territoire donné, d'identifier les zones où le risque est localement préoccupant.
La *figure 7* illustre la capacité prospective du Siel, à travers les cartes produites selon trois scénarios d'évolution sur Dantiandou : croissance démographique continue (scénario 1), associée à une sécheresse durable (scénario 2), arrêt de la croissance démographique locale et du prélèvement de bois (scénario 3). L'IPA est classé sur une échelle de niveau d'intensité, considérant l'indice > 100 comme le risque relatif maximum. Le risque s'intensifie dans le scénario 1 sur l'ensemble des zones aptes à la mise en culture (koris, chanfreins, cordons dunaires, glacis, bombements) selon les techniques actuelles. Deux grandes zones se différencient, l'une à fort et l'autre à faible risque. Dans le scénario 3 plus pessimiste, le risque continue de s'intensifier et déborde sur les jupes sableuses et les plateaux cuirassés peu propices à l'agriculture. Dans le scénario 2, optimiste, il s'homogénéise dans des gammes de risque moyen à faible, quel que soit le faciès paysager.
Dès que les données collectées le permettront, les indices finaux issus du Siel seront comparés avec l'évolution des indicateurs de dégradation mesurés au sol (couvert

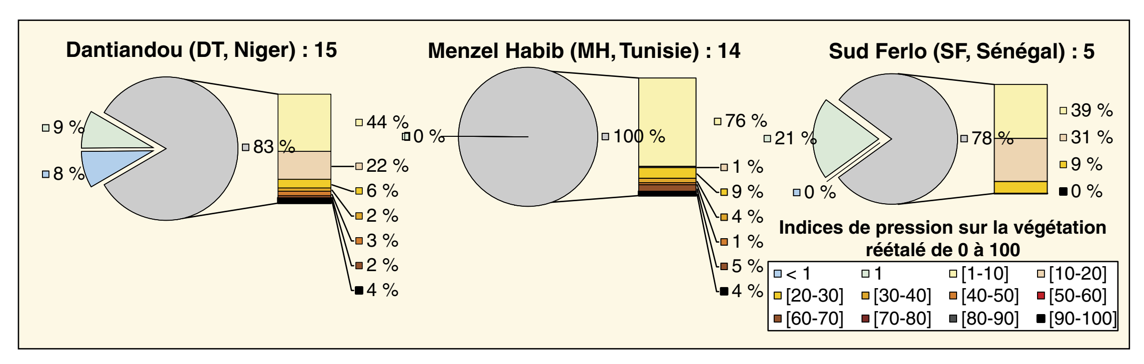


Figure 6. Étendue spatiale (%) des niveaux de pression anthropique sur la végétation dans trois observatoires Roselt/OSS.
Roselt : Réseau d'observatoires de surveillance écologique à long terme ; OSS : Observatoire du Sahara et du Sahel.

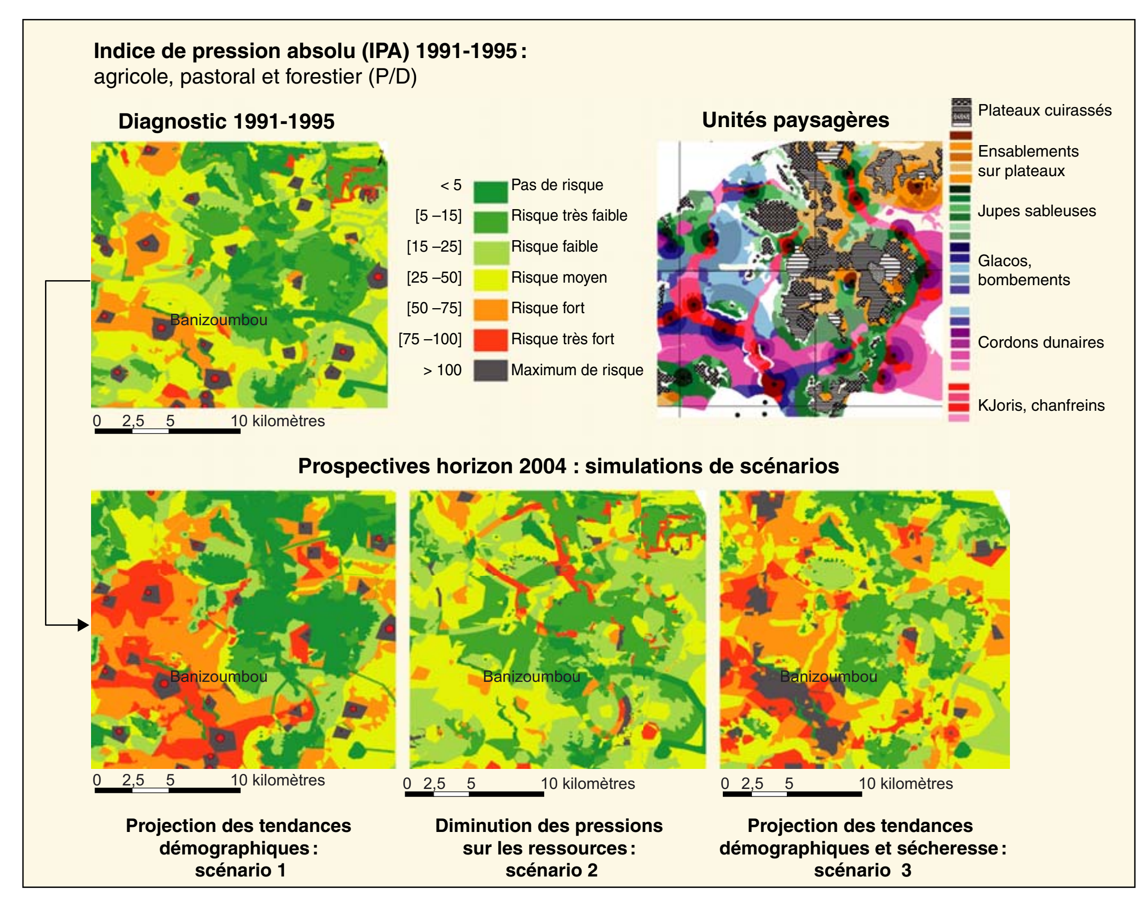


Figure 7. Cartes prospectives sur Dantiandou (Niger) 1991-1995 [3].

végétal, fertilité, épaisseur du sol, etc.). Dans le même sens, les cartes prospectives issues de la première période d'observation seront comparées avec les résultats issus du second diagnostic. L'analyse de ses résultats permettra un ajustement des scénarios d'évolution et contribuera à l'amélioration des modèles.

Conclusion

Le Siel et ses modèles autorisent des prospectives environnementales à court, moyen et long terme, c'est-à-dire selon un mode exploratoire dans un contexte ou existent des enjeux de décision sous controverse (adaptés à une approche qualitative). Ils ne permettent pas d'établir des prévisions pour faire une estimation du futur assortie d'un degré de confiance (adapté à une approche quantitative). Ils sont exploratoires et par là même utiles au dialogue avec les gestionnaires des ressources qui doivent prendre des décisions à court, moyen ou long terme, en fonction d'une problématique environnementale à long terme [17].

Le Siel est aujourd'hui progressivement utilisé sur le pourtour saharien pour évaluer le risque de dégradation des terres, alimenté par des données adaptées à la surveillance environnementale interdisciplinaire.

Il œuvre pour la reconnaissance de la valeur ajoutée de l'observation locale, et sa prise en compte, dans les actions actuelles internationales : projets européens de surveillance de la désertification, dispositifs nationaux d'observatoires de surveillance environnementale mis en œuvre par les pays ayant ratifié la convention internationale de lutte contre la désertification, Observatoire africain du développement durable, etc.

Il se confortera avec sa mise en œuvre potentielle qui en découle sur de nouveaux territoires locaux. Fort de cette expérience et en comptant sur l'avancée des recherches en modélisation environnementale, d'autres modes de calculs génériques pourront émerger, pour prendre en compte plus de spécificités locales, ou intégrer des thèmes majeurs tels que le foncier et donner une éventuelle continuité juridique aux produits proposés. Ces avancées se feront selon les mêmes principes généraux du Siel actuel : approche multisite, multidate, harmonisation des méthodes, généricité des outils, approche réseau, coconstruction scientifique et institutionnelle Nord-Sud et Sud-Sud. ■

Références

1. Loireau M, Desconnets JC, d'Herbès JM. *Concepts et méthodes du Siel-Roselt/OSS. Collection Roselt/OSS, DS3.* Montpellier : Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) ; Institut de recherche pour le développement (IRD, 2004.

2. Cornet A. La désertification à la croisée de l'environnement et du développement. Un problème qui nous concerne. In : Barbault R, Cornet A, Jouzel J, *et al.*, eds. *Johannesburg, Sommet Mondial du Développement durable.* Paris : ministère des Affaires étrangères (MAE) ; Association pour la diffusion de la pensée française (ADPF, 2002.

3. Loireau M. *Espace-Ressources-Usages : spatialisation des interactions dynamiques entre les systèmes sociaux et les systèmes écologiques au Sahel nigérien.* Thèse de géographie, université Paul-Valéry, Montpellier III, 1998.

4. L'Hôte Y, Mahé G, Somé B, Triboulet JP. Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000 ; the drought continues. *Hydrol Sci J* 2002 ; 47 : 563-72.

5. Geist HJ, Lambin EF. Dynamic Causal Patterns of Desertification. *Bioscience* 2004 ; 54 : 817-29.

6. Poullaouec-Gonidec P, Domon G, Paquette S. *Paysages en perspective.* Montréal : Presses de l'université de Montréal, 2005.

7. Durand-Dastès F. Les concepts de la modélisation spatiale. In : Sanders L, ed. *Modèles en analyse spatiale.* Paris : Hermès Science Publications, 2001.

8. Loireau M, d'Herbès JM. *Organisation, fonctionnement et méthodes de Roselt/OSS. Collection Roselt/OSS, DS2.* Montpellier : Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) ; Institut de recherche pour le développement (IRD), 2004.

9. Hopkins LD. Integrated knowledge about land use and the environment through the use of multiple models. In : Subhrajit G, ed. *Integrated land use and environmental models.* Phoenix : Arizona State University, 2003.

10. Institut de recherche pour le développement (IRD). *Manuel d'utilisation de l'outil Siel-ROSELT_v1.4.* Montpellier : IRD, 2006.

11. Le Floc'h E, *et al. Methodological guide for the Study and monitoring of collection Flora and vegetation.* Roselt/OSS Technical contribution n° 1.Tunis : OSS; IRD, 2007.

12. Turner II BL, Skole D, Sanderson S, Fischer G, Fresco L, Leemans R. *Land-use and land-cover change - Science/research plan.* IGBP Report 35 ; HDP Report 7. Geneva ; Stockholm : IGBP/HDP, 1995.

13. Godron M, Daget P, Emberger L, *et al. Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu.* Paris : CNRS éditions, 1969.

14. Loireau M, Sghaier M, Ba M, Barrière C. *Guide pour l'évaluation et le suivi des pratiques d'exploitation des ressources naturelles. Collection Roselt/OSS, CT2.* Montpellier : Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) ; Institut de recherche pour le développement (IRD, 2005.

15. Leduc C, Loireau M. Fluctuations piézométriques et évolution du couvert végétal en zone sahélienne (sud-ouest du Niger). In : *Sustainability of water resources under increasing uncertainty.* IAHS Publication N°240. Wallingford (United Kingdom) : International Association of Hydrological Sciences (IAHS), 1997.

16. Fetoui M, Sghaier M, Bennour L, et al. *Modélisation Siel sur les interactions « ressources-usages » dans l'Observatoire de Menzel Habib (Tunisie) pour une gestion durable des RN en ZA.* Colloque « Interactions Nature/Société, analyse et modèles », La Baule, Unité mixte de recherche (UMR) « Littoral Environnement Télédétection Géomatique » (LETG), 2006.

17. Mermet L, Xavier P. Pour une recherche prospective en environnement. Repères théoriques et méthodologiques. *Natures Sciences Sociétés* 2002 ; 3 : 7-15.